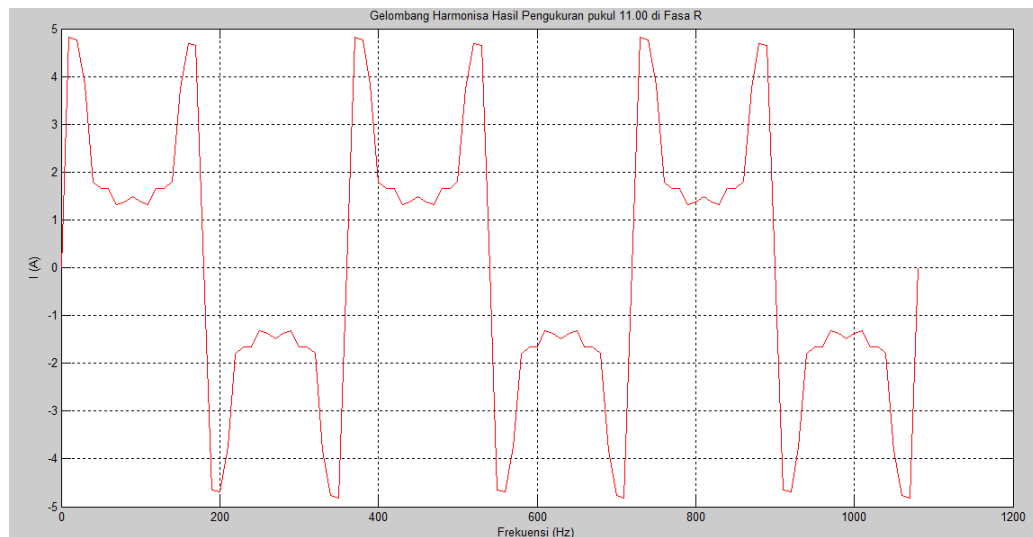


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Harmonisa Arus Di Gedung Direktorat TIK UPI Sebelum Dipasang Filter

Dengan asumsi bahwa kelistrikan di Gedung Direktorat TIK UPI seimbang maka dalam penggambaran bentuk gelombang harmonisa akan diambil sampel dari salah satu hasil pengukuran harmonisa. Data pengukuran yang dijadikan sampel adalah data hasil pengukuran harmonisa arus pada pukul 11.00 di fasa R. Berikut hasil simulasi dari bentuk gelombang harmonisa arus di fasa R dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB versi 2010.



Gambar 4. 1.
Gelombang Harmonisa Hasil Pengukuran pada Pukul 11.00 di Fasa R

Bentuk simulasi gelombang harmonisa di atas belum tentu sama dengan gelombang harmonisa yang terjadi di Gedung Direktorat TIK UPI, karena nilai THD I tidak dapat dengan tepat menggambarkan bentuk gelombang harmonisa.

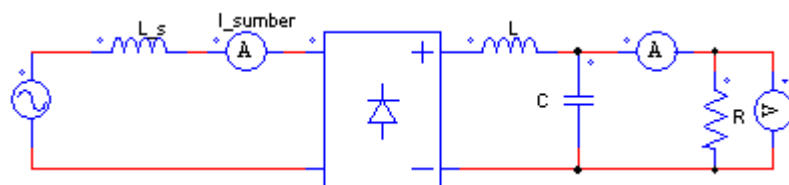
4.2 Pendekatan nilai I_{sc}/I_L

Karena data daya rata-rata beban pemakaian selama 12 bulan di gedung TIK UPI tidak diperoleh maka untuk memperoleh nilai perbandingan I_{sc}/I_L

dalam tugas akhir ini nilainya dianggap < 20 , sehingga batas THD I yang diijinkan menurut standar IEEE 519-1992 adalah harus di bawah 5 %.

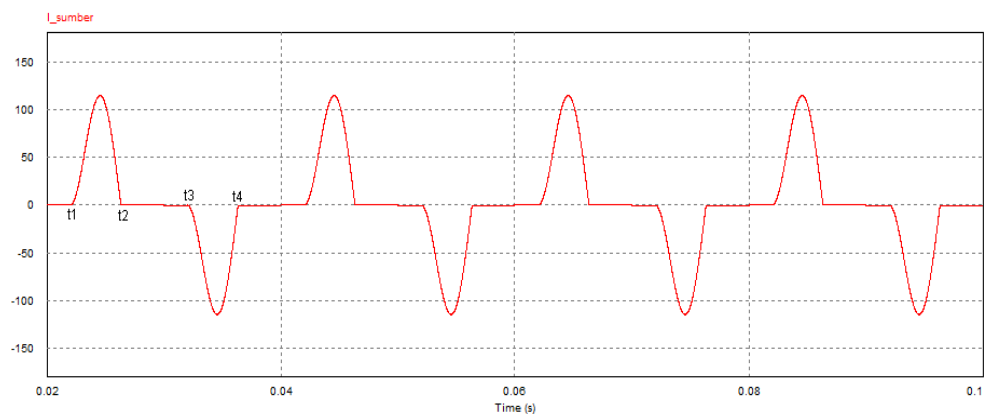
4.3 Model dan Hasil Simulasi Sumber Harmonisa Gedung Direktorat TIK UPI dengan PSIM 9.0.3

Dengan asumsi bahwa sistem kelistrikan di Gedung Direktorat TIK UPI seimbang, maka dalam analisis gelombang harmonisa hanya akan diambil salah satu fasa. Dalam penelitian ini fasa R dijadikan sebagai model yang mengandung harmonisa serta tempat dipasangnya filter aktif. Sumber harmonisa di Gedung Direktorat TIK UPI berasal dari penggunaan lampu TL dengan *ballast* elektronik dan komputer, untuk keperluan penelitian maka sumber harmonisa ini hanya direpresentasikan oleh sebuah penyearah satu fasa tipe jembatan tidak terkontrol serta bentuk gelombang harmonisa dari simulasi hanya akan disesuaikan dengan nilai THD I hasil pengukuran sebesar 84 % sedangkan untuk nilai amplitudo arus dan faktor kerja diabaikan. Berikut desain sistem kelistrikan yang mengandung harmonisa akibat pemasangan beban non linear yang menghasilkan THD I sebesar 84 %.



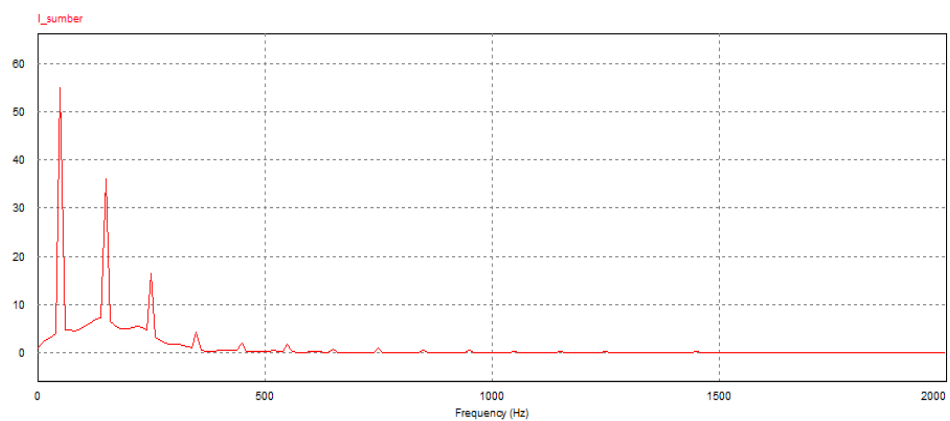
Gambar 4. 2. Model Desain Sumber Harmonisa

Dipilihannya penyearah tipe jembatan pada simulasi karena umumnya beban di Gedung Direktorat TIK UPI memerlukan arus searah sehingga di dalam peralatan beban tersebut sudah terpasang penyearah. Dengan asumsi ini maka dipilihnya penyearah tipe jembatan yang digunakan dalam simulasi dianggap telah mewakili kelakuan dari beban di Gedung Direktorat TIK UPI. Perbedaannya terletak pada rating daya antara simulasi dengan beban sesungguhnya.



Gambar 4. 3. Simulasi Arus Akibat Harmonisa

Dari gambar 4.3 di atas dapat dijelaskan bahwa arus sumber yang seharusnya berbentuk sinusoidal murni tetapi akibat penggunaan penyearah yang menghasilkan harmonisa sehingga gelombang arus tersebut mengalami distorsi. Dengan adanya harmonisa pada fasa R maka pada fasa tersebut tidak hanya mengandung frekuensi fundamental tetapi juga frekuensi kelipatan fundamental. Spektrum frekuensi gelombang fundamental dan harmonisa pada fasa R diperlihatkan pada gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4. 4.
Spektrum Gelombang frekuensi Fundamental dan Harmonisa

Pada gambar 4.4 di atas dapat diketahui bahwa frekuensi harmonisa dominan yang terkandung di fasa R adalah harmonisa ke 3,5,7,9,11 dst yang

merupakan harmonisa orde ganjil. Berikut nilai dari tiap orde harmonisa yang disajikan dalam tabel 4.1

Tabel 4.1 Sumber Harmonisa Sebelum Dipasang Filter

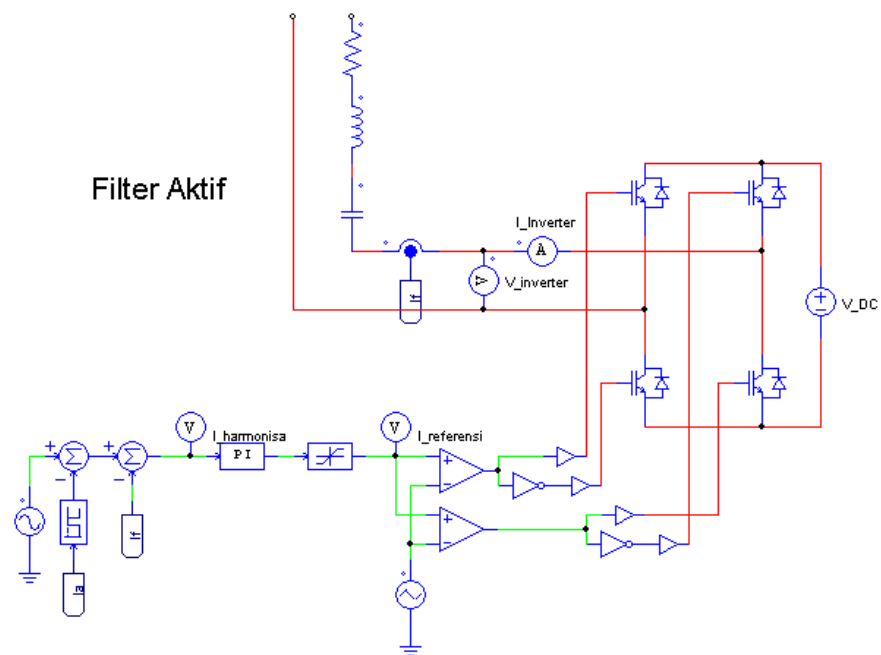
Harmonisa Arus ke-	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Sebelum dipasang filter	54.07	37.69	18.25	47.91	24.11	19.6	0.94	1.04	0.57	0.57

4.4 Lokasi Pemasangan Filter

Belum ada ketentuan dalam teknik pemasangan filter, baik itu filter aktif maupun filter pasif. Akan tetapi karena harmonisa itu mempunyai kemampuan untuk merambat menuju sistem yang mempunyai impedansi yang rendah, maka salah satu tempat pemasangan filter yang tepat adalah di dekat sumber harmonisa itu sendiri sehingga dengan adanya pemasangan filter di dekat sumber harmonisa maka harmonisa tersebut diharapkan tidak menjalar menuju jaringan atau sistem tenaga listrik. Di dalam penelitian ini filter aktif dipasang dekat dengan penyearah 1 fasa yang merupakan sumber penghasil harmonisa.

4.5 Analisis Model Desain Filter Aktif untuk Mereduksi Harmonisa di Gedung TIK UPI

Salah satu bagian penting dalam pembuatan filter aktif adalah merancang kontrol inverter. Dengan inverter yang terkontrol, harmonisa yang dibangkitkan bisa kita atur sedemikian rupa sehingga menghasilkan harmonisa lawan yang bisa mereduksi harmonisa pada sistem. Untuk lebih jelasnya desain dari inverter terkontrol yang dijadikan sebagai filter aktif ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.

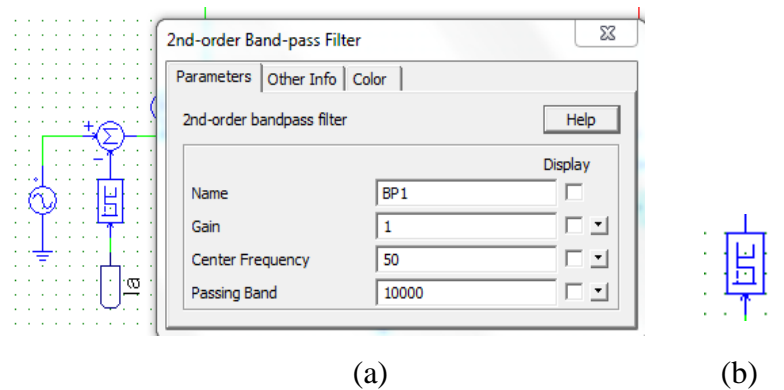


Gambar 4. 5. Desain Filter Aktif Satu Fasa

Dari gambar di atas dapat dilihat teknik pengontrolan pada inverter cukup kompleks. Pada penjelasan berikut ini akan dianalisis dengan detail fungsi dari setiap komponen kontrol inverter di atas.

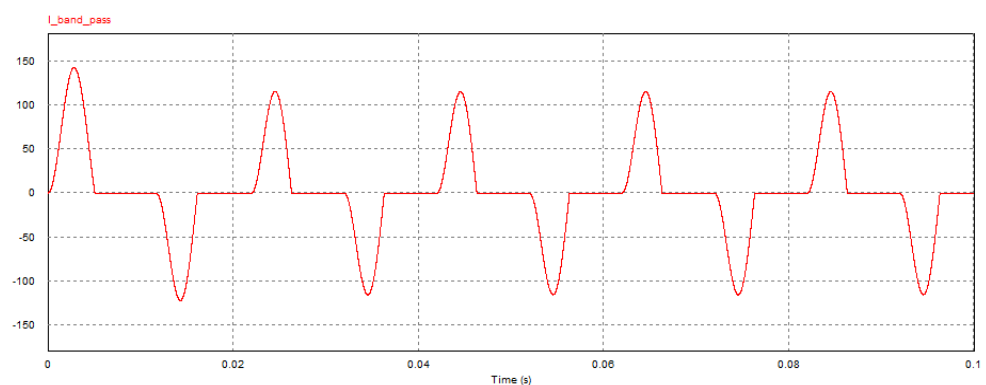
4.5.1 Penyeleksian Arus Harmonisa

Bentuk gelombang pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa antara komponen fundamental dan harmonisa masih bersatu maka dari itu untuk memisahkan komponen harmonisa maka tahap pertama yang harus dilakukan adalah dengan memasang sensor arus pada sistem, selanjutnya arus yang di sensing dari sistem akan diseleksi melalui *band pass* filter orde dua. Gelombang fundamental dan harmonisa keluaran dari *band pass filter* masih bersatu tetapi orde harmonisa yang diloloskan telah dibatasi dan amplitudo dari frekuensi fundamental bisa diketahui.

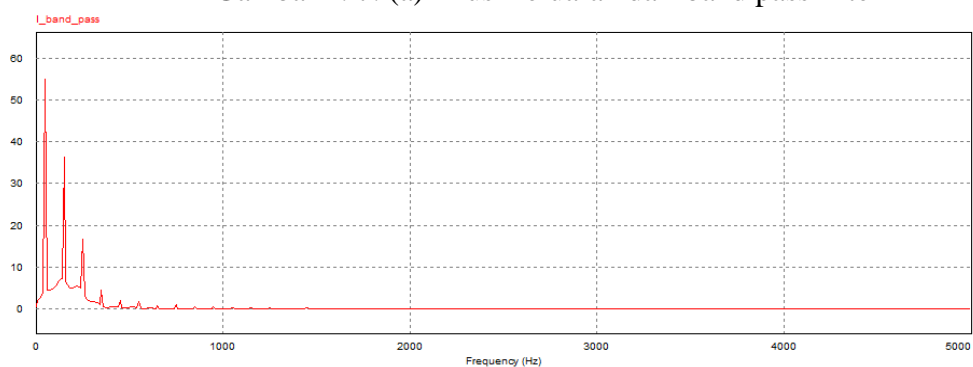


Gambar 4. 6. (a) Pengisian Parameter pada Band Pass Filter dengan (Ia) Input Arus pada Band Pass Filter dari Sensor Arus , (b) Band Pass Filter.

Berikut penentuan nilai dari *center frequency* dan *passing band* yaitu sebesar 50 Hz dan 10000. Dengan orde frekuensi yang diloloskan cukup lebar maka diharapkan harmonisa orde tinggi bisa terloloskan sehingga dalam proses reduksi harmonisa orde tinggi pun bisa hilang.

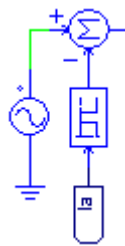


Gambar 4. 7. (a) Arus Keluaran dari band pass filter



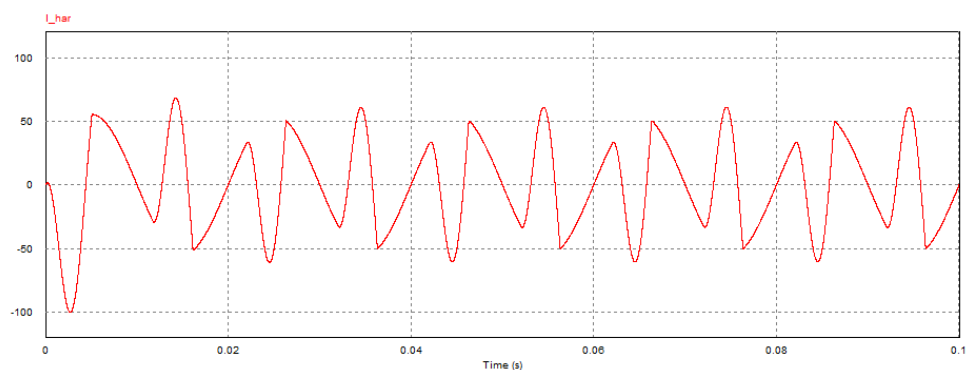
Gambar 4.7. (b) Spektrum Frekuensi Arus

Dari gambar 4.7 (b) dapat diketahui bahwa pada amplitudo arus pada frekuensi fundamental (50 Hz) adalah 55 A. Untuk mereduksi komponen fundamental ini digunakan sumber sinusoidal dengan frekuensi 50 hertz dan amplitudo 55 A yang berlawanan dengan komponen fundamental. Berikut gambar dari *summing* komponen fundamental dengan harmonisa.

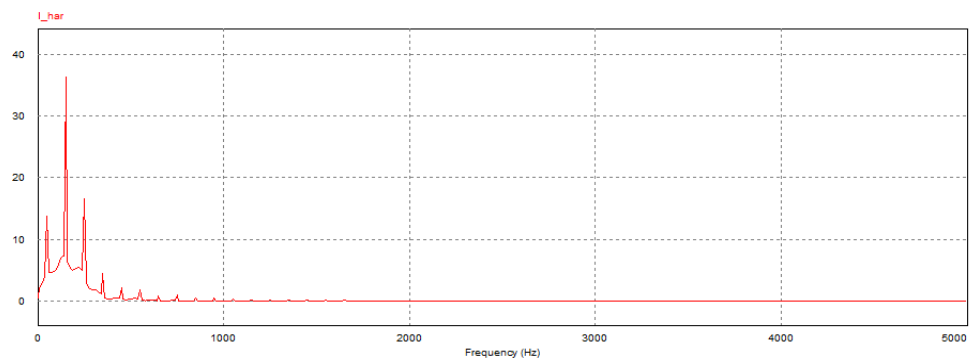


Gambar 4. 8.Reduksi Komponen Fundamental dengan menggunakan Sumber dari Luar

Gambar 4.8 di atas memperlihatkan cara mereduksi komponen fundamental. Hasil harmonisa murni diperlihatkan dalam gambar 4.9 (a).



Gambar 4. 9. (a) Komponen Arus Harmonisa

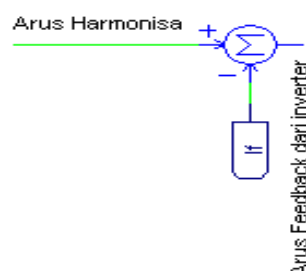


Gambar 4.9. (b) Spektrum Frekuensi Komponen Arus Harmonisa

Dari gambar 4.9.b diperlihatkan bahwa komponen fundamental masih tetap ada, walaupun demikian amplitudonya berkurang drastis. Untuk gambar 4.9.a merupakan komponen harmonisa murni. Dari gambar tersebut tidak terlihat tiap orde harmonisa karena gelombang tersebut adalah hasil penjumlahan dari tiap orde harmonisa.

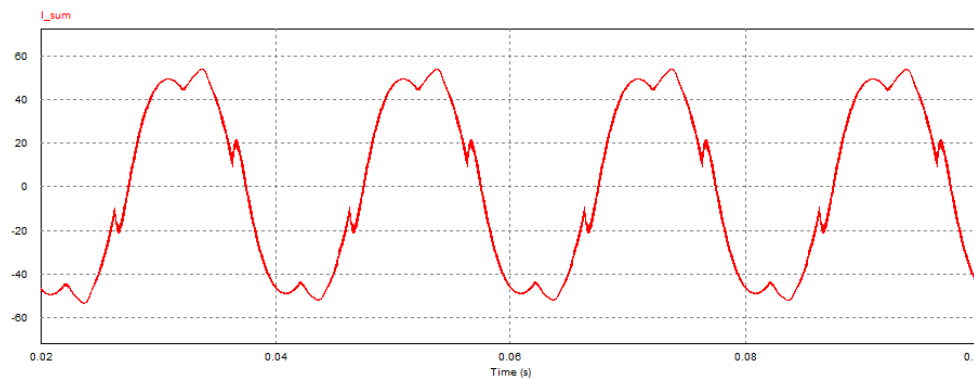
4.5.2 Pengendalian Arus Harmonisa dengan Menggunakan Kontroler Proporsional (K) dan Integrator (I).

Tujuan dari penggunaan kontroler proporsional dan Integrator adalah untuk mengholah gelombang input arus harmonisa sehingga menghasilkan gelombang output arus yang berbentuk sinusoidal. Untuk menghasilkan arus keluaran yang diinginkan, arus keluaran inverter kita umpan balik ke dalam sistem *kontrol*.



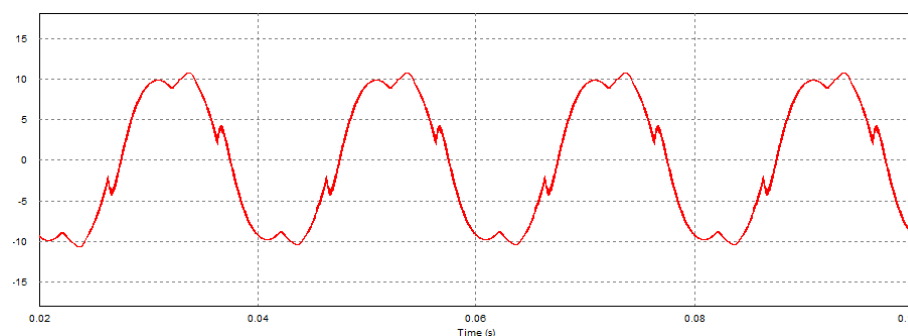
Gambar 4. 10. a. Penjumlahan Arus Harmonisa (I_h) dengan Arus Keluaran Inverter (I_f)

Dengan umpan balik ke dalam rangkaian kontrol, maka akan dihasilkan bentuk gelombang referensi berbentuk sinusoidal.



Gambar 4.10. b. Gelombang Arus Hasil Penjumlahan Arus Harmonisa (I_h) dengan Arus Keluaran Inverter (I_i)

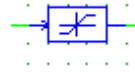
Dari gambar 4.10.b, gelombang hasil keluaran hampir berbentuk sinusoidal tetapi nilai dari amplitudonya masih besar serta masih terdapat sinyal *error*. Nilai amplitudo sangat berpengaruh untuk masukan pada komparator maka dari itu puncak arus harus bisa diturunkan sedemikianrupa. Salah satu cara untuk menurunkan amplitudo arus adalah dengan cara pemasangan kontroler proporsional sedangkan untuk memperbaiki *error* sinyal digunakan kontroler integrator. Penyetelan konstanta proporsional (K_p) dan konstanta integrator (T_i) diperoleh dengan mengikuti metode Ziegler-Nichols. Dengan metoda tersebut maka diperoleh nilai K_p sebesar 0.18 dan konstanta waktu (T_i) sebesar 2.25. Berikut hasil gelombang setelah dipasang kontroler P dan I.



Gambar 4. 11.
Arus Hasil Keluaran dari Kontroler Proporsional dan Integral

4.5.3 Pemasangan Limiter

Fungsi dari limiter adalah untuk membatasi amplitudo dari gelombang sebelum masuk ke komparator.



Gambar 4. 12. Limiter

Rangkaian sesungguhnya dari limiter adalah berupa dua buah dioda zener yang dipasang parallel.

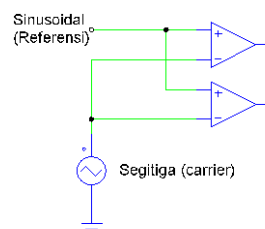
4.5.4 Pengaturan Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

Prinsip kerja dari SPWM adalah dengan membandingkan antara gelombang referensi yang berupa sinusoidal terhadap gelombang *carrier* yang berbentuk segitiga. Gambar 4.11 merupakan gelombang referensi sinusoidal yang akan dimodulasikan dengan gelombang carier. Pada saat terjadi modulasi, amplitudo gelombang carier harus lebih besar dari gelombang referensi atau perbandingan amplitudo gelombang carier terhadap gelombang referensi harus ≤ 1 hal ini bertujuan agar tidak terjadi *over* modulasi. Sedangkan nilai frekuensi carier harus jauh lebih besar dari frekuensi referensi agar frekuensi harmonisa yang dibangkitkan inverter mempunyai orde harmonisa yang lebar. Untuk inverter satu fasa dengan metode SPWM dengan frekuensi carier yang jauh lebih besar dari frekuensi referensi, gelombang harmonisa yang dibangkitkan adalah harmonisa orde ganjil (1,3,5,7 dst). Sedangkan jika frekuensi carier lebih kecil dari frekuensi referensi maka bukan hanya harmonisa orde ganjil yang muncul tetapi juga harmonisa orde genap pun akan ikut muncul. Berikut hasil penyetelan dari SPWM dan tegangan DC pada inverter yang disajikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Parameter Sistem *Test*

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
DC Link Voltage	V _{dc}	412	V
Modulasi frekuensi	Fr	50	Hz
Frekuensi carrier	F _c	20000	Hz
Modulation index	Mi	1	-

Perbandingan sinyal referensi terhadap carrier dilakukan dengan menggunakan komparator. Seperti diperlihatkan dalam gambar di bawah ini.

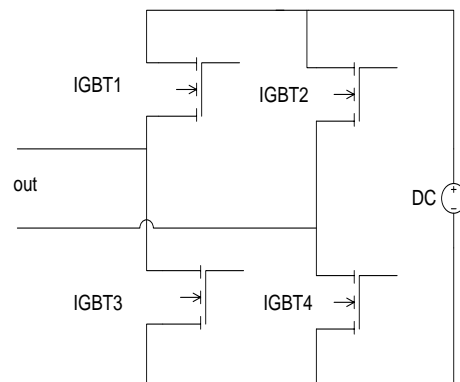


Gambar 4. 13. Perbandingan Arus Referensi terhadap Carrier pada Komparator

Jika $I_{ref} > I_{carrier}$ maka bernilai 1, jika sebaliknya maka akan bernilai 0. Sinyal 1 atau 0 ini akan diatur dengan menggunakan bantuan gerbang logika NOT dan *switch controller* untuk mengatur pensakalaran dari tiap IGBT.

4.5.5 Pengaturan Pulsa Kerja Inverter dengan Menggunakan Gerbang Logika *Not* dan *switch* controller

Seperti dijelaskan pada sub bab sebelumnya fungsi dari logika Not dan *switch* controller untuk mengatur pensakalaran dari tiap IGBT. Gambar berikut memperlihatkan letak tiap IGBT.



Gambar 4. 14. Posisi IGBT

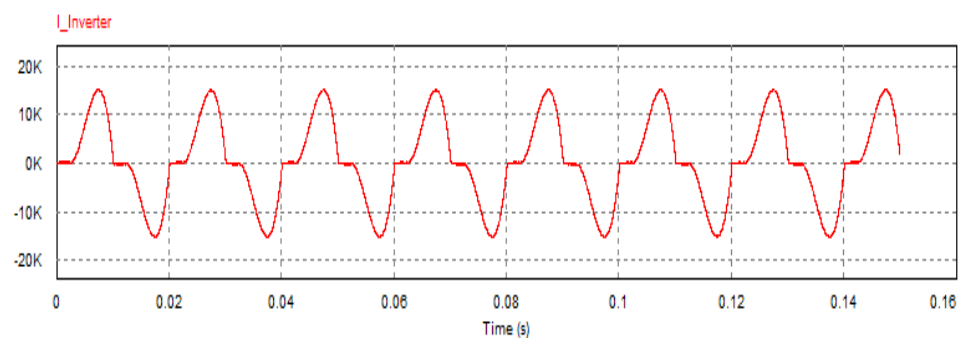
Cara kerja dari kombinasi IGBT pada gambar di atas dijelaskan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 3. Kerja Pensaklaran IGBT

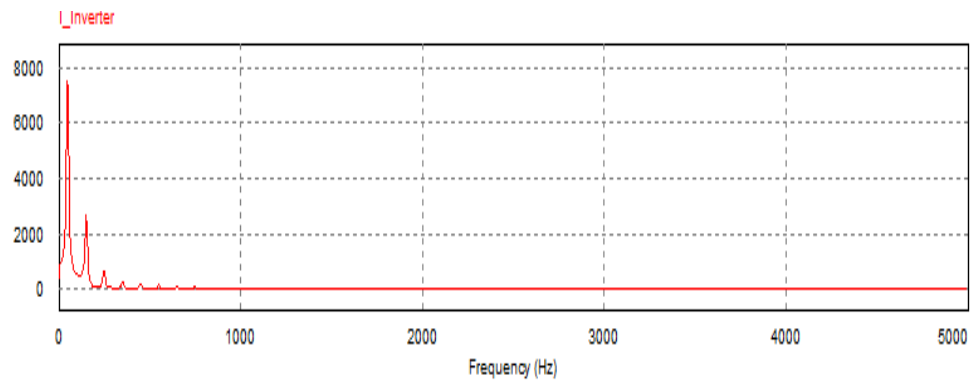
S1	S2	S3	S4	Vout
ON	-	-	ON	+ Vdc
-	ON	ON	-	- Vdc

4.5.6 Analisis Pemasangan Komponen L,R dan C pada keluaran inverter

Arus keluaran dari inverter mempunyai frekuensi harmonisa yang lebar dan nilai THD I tidak sesuai dengan kebutuhan. Untuk memperbaiki kejadian tersebut maka dilakukan rekayasa dengan pemasangan komponen R, L dan C secara seri. Berikut hasil sebelum dan sesudah pemasangan komponen R, L dan C pada keluaran inverter.

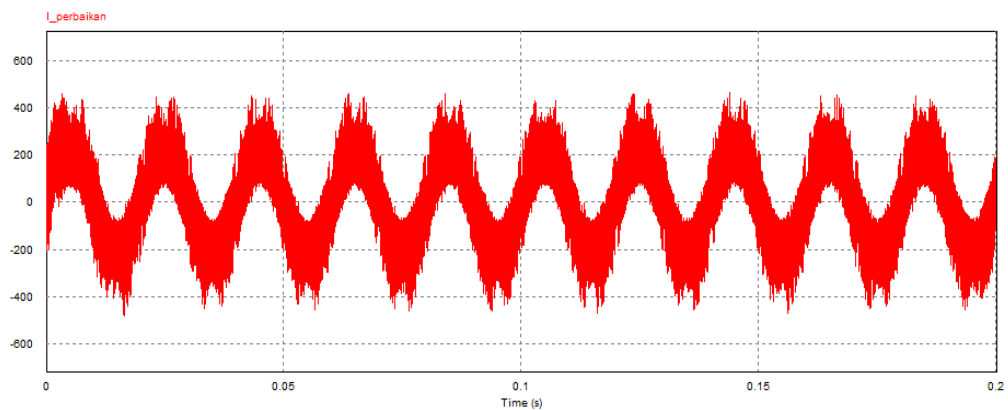


Gambar 4. 15. a. Bentuk Gelombang Arus Output Inveter Tanpa Komponen R, L dan C

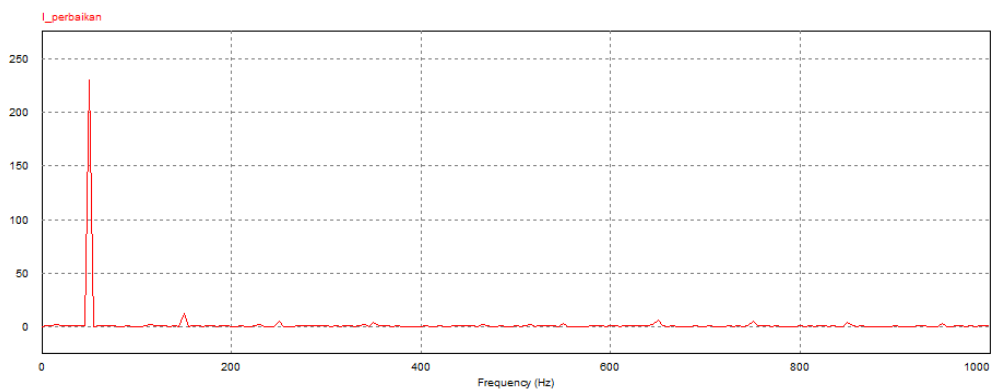


Gambar 4.15. b. Bentuk spektrum frekuensi Arus Output Inveter Tanpa Komponen R,L dan C.

Dari gambar 4.15 dan 4.16 dapat dilihat bahwa kemunculan orde harmonisa lawan sudah sesuai tetapi nilai dari amplitude tiap orde masih sangat tinggi.

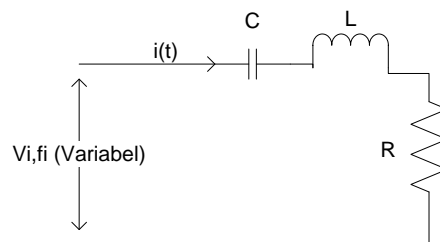


Gambar 4.15. c. Bentuk Arus Perbaikan Tanpa Komponen R,L dan C

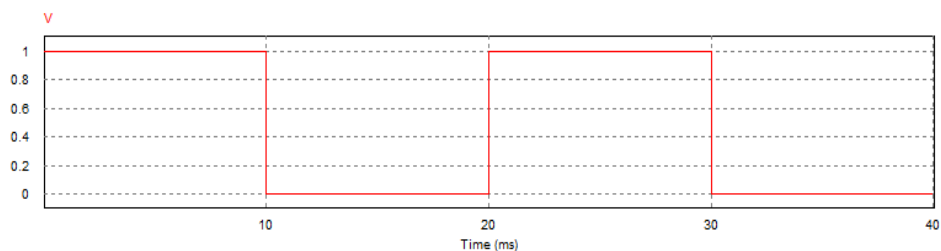


Gambar 4.15 d. Bentuk Spektrum Frekuensi Arus Perbaikan Tanpa Komponen R, L dan C

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa hasil perbaikan untuk mereduksi komponen orde harmonisa telah berhasil tetapi nilai arus pada komponen fundamental meningkat hampir empat kali lipat hal ini terjadi karena besar dari setiap orde harmonisa belum sesuai dan komponen fundamental dari filter sangat besar. Untuk mereduksi besar dari tiap orde harmonisa maka dipasang komponen R, L dan C. Berikut analisis dari keluaran dari inverter setelah dipasang komponen R, L dan C.



Gambar 4. 16. Analisis Pendekatan Arus Keluaran dari Inverter Akibat Pemasangan R, L dan C



Gambar 4. 17. Penyerderhanaan tegangan Keluaran dari Inverter

Dari gambar 4.16 dan 4.17 bisa dibuat bentuk pendekatan persamaan matematika dari arus keluaran inverter. Berikut tahap pengerjaannya.

$$V = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + iR \dots\dots\dots(1)$$

Dengan menggunakan transformasi laplace maka diperoleh persamaan berikut;

$$\frac{V}{s} = L\{sI(s) - I_{(0)}\} + \frac{1}{C} \frac{I(s)}{s} + I(s)R \dots\dots\dots(2)$$

Dengan asumsi ketika $t=0$, $I_{(0)} = 0$, maka

$$\frac{V}{s} = L\{sI(s)\} + \frac{1}{c} \frac{I(s)}{s} + I(s)R \dots\dots\dots(3)$$

$$I(s) = \frac{CV}{CLs^2 + CRs + 1} \dots\dots\dots(4)$$

Untuk mendapatkan fungsi waktu, persamaan di atas akan dirubah kedalam bentuk pecahan parsial. Langkah pengerjaanya adalah sebagai berikut ;

$CLs^2 + CRs + 1$, dicari terlebih dahulu akar pembuat nol. Dengan menggunakan formula ABC dalam mencari akar dari suatu fungsi maka akar pembuat nol dari fungsi di atas (S_1 dan S_2)

$$s = \frac{-CR \pm \sqrt{(CR)^2 - 4CL}}{2CL} \dots\dots\dots(5)$$

$$S_1 = \frac{-CR + \sqrt{(CR)^2 - 4CL}}{2CL} \dots\dots\dots(6)$$

$$S_2 = \frac{-CR - \sqrt{(CR)^2 - 4CL}}{2CL} \dots\dots\dots(7)$$

Dengan didapatnya akar-akar dari persamaan di atas, maka langkah selanjutnya membuat pecahan parsial.

$$I(s) = \frac{CV}{CLs^2 + CRs + 1} = \frac{CV}{CLs^2 + CRs + 1} = CV \left(\frac{A}{(s-s_1)} + \frac{B}{(s-s_2)} \right) \dots\dots\dots(8)$$

Tahap selanjutnya adalah mencari nilai dari A dan B.

Untuk nilai A

$$A = \lim_{s \rightarrow s_1} \frac{1}{(s-s_2)} \dots\dots\dots(9)$$

$$A = \frac{1}{s_1 - s_2} = \frac{1}{\frac{-CR + \sqrt{(CR)^2 - 4CL}}{2CL} - \left(\frac{-CR - \sqrt{(CR)^2 - 4CL}}{2CL} \right)} \dots\dots\dots(10)$$

$$A = \frac{CL}{\sqrt{(CR)^2 - 4CL}} \dots\dots\dots(11)$$

Untuk nilai B

$$B = \lim_{s \rightarrow s_2} \frac{1}{(s-s_1)} \dots\dots\dots(12)$$

$$B = \frac{1}{s_2 - s_1} = \frac{1}{\frac{-CR - \sqrt{(CR)^2 - 4CL}}{2CL} - \frac{-CR + \sqrt{(CR)^2 - 4CL}}{2CL}} \dots\dots\dots(13)$$

$$B = -\frac{CL}{\sqrt{(CR)^2 - 4CL}} \dots\dots\dots(14)$$

$$I(s) = CV\left(\frac{A}{(s-s_1)} + \frac{B}{(s-s_2)}\right) \dots\dots\dots(15)$$

Dengan menggunakan invers transformasi laplace maka arus dengan fungsi waktu bisa diperoleh sebagai berikut ;

$$i(t) = CV(Ae^{s_1 t} + Be^{s_2 t}) \dots\dots\dots(16)$$

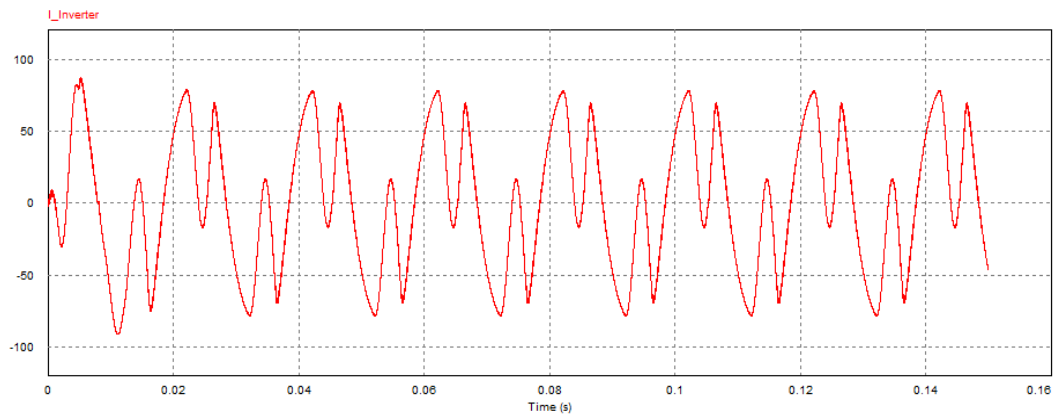
Dengan mensubsitusikan nilai dari A dan B maka persamaan akhir sebagai berikut ;

$$i(t) = \frac{C^2 V}{\sqrt{(CR)^2 - 4CL}} (e^{s_1 t} - e^{s_2 t}) \text{ ampere} \dots\dots\dots(17)$$

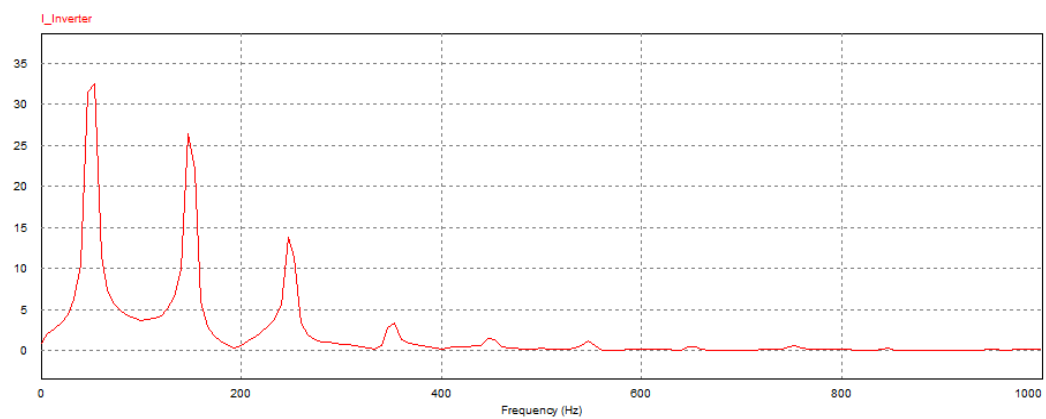
` V adalah *ouput* tegangan dari inverter. Dengan pemilihan nilai dari R, L dan C maka konstanta waktu dari persamaan di atas bisa diatur sedemikian rupa sehingga menghasilkan bentuk gelombang yang dibutuhkan. Nilai yang dipilih adalah R 0.1 ohm, L 825 uH dan C 1000 uF.

4.6 Hasil Perbaikan Sistem Setelah Dipasang Filter Aktif

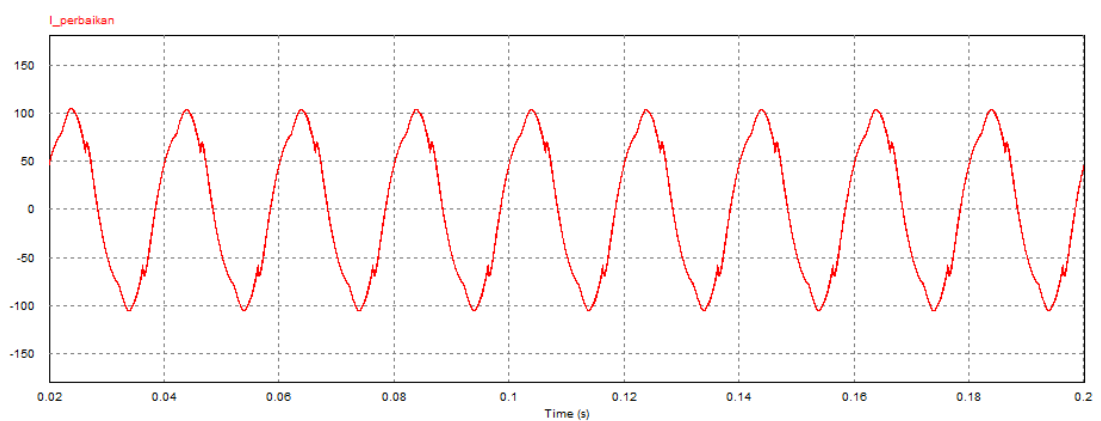
Bentuk gelombang arus pada sistem setelah dilakukan pemasangan filter mengalami perbaikan yang sangat baik serta menghasilkan bentuk gelombang yang hampir sinusoidal. Selain itu, nilai THD I setelah pemasangan filter mengalami penurunan yang drastis dengan nilai akhir sebesar 5.12%. Berikut bentuk akhir dari gelombang arus setelah dilakukan pemasangan filter aktif.



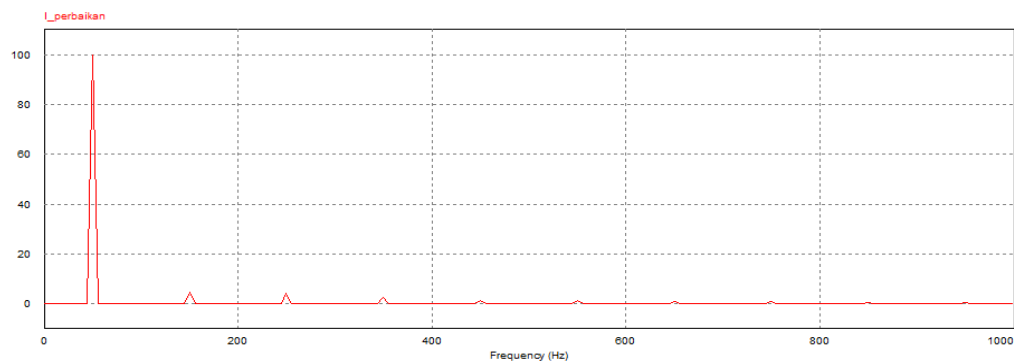
Gambar 4.18. a. Bentuk Gelombang Arus Output Inveter dengan Komponen R,L dan C



Gambar 4.18.b. Bentuk spektrum frekuensi Arus Output Inveter dengan Komponen R,L dan C



Gambar 4.18.c. Gelombang Setelah Pemasangan Filter Aktif



Gambar 4.18.d. Spektrum Frekuensi Setelah Pemasangan Filter Aktif

Dari gambar 4.18.d bisa dilihat bahwa harmonisa orde 3,5,7,9 dst hampir hilang diakibatkan oleh injeksi arus lawan dari filter aktif. Sedangkan untuk komponen fundamental mengalami peningkatan hingga dua kali lipat, hal ini disebabkan oleh penambahan arus fundamental dari filter aktif. Berikut tabel hasil perbandingan sebelum dan sesudah dilakukan pemasangan filter aktif.

Tabel 4. 4. Perbandingan harmonisa sebelum dan sesudah pemasangan filter aktif

Harmonisa ke-	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Harmonisa Sebelum Dipasang Filter Aktif	54.07	37.69	18.25	47.91	24.11	19.6	0.94	1.04	0.57	0.57
Harmonisa Filter Aktif	42.58	37.03	18.12	47.9	25.03	19.83	0.95	0.94	0.26	0.33
Arus Harmonisa Setah Dipasang Filter Aktif	96.57	1.23	2.2	1.32	0.77	0.66	0.18	0.48	0.36	0.29
THD I Sebelum dipasang filter	84 %									
THD I Arus Perbaikan	5.12%									